“HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES PARA TÚNELES”

Martha Orta Zambrano1, Fernando Jara Arboleda2, Guillermo Di Pace3

1 Ingeniera Civil 2005
2 Ingeniero Civil 2005
3 Director de Tesis, Ingeniero Civil, Consultor Internacional, Profesor Honorario de la ESPOL

RESUMEN

La primera parte de la Tesis se enfoca en conceptos teóricos básicos de lo que son Hormigones de Altas Prestaciones, sus características y su ventaja en la utilización en la construcción.
En su segunda parte se describe a cada uno de los tres tipos de hormigones, estos son Hormigón Proyectado, Hormigón Auto Compactante y Hormigón de Retracción por Secado controlada.
Por último, para finalizar el proyecto se introduce el capítulo de Ensayos de Laboratorio, sus resultados, interpretaciones de los mismos; para llegar a las Conclusiones y Recomendaciones en la utilización de estos Hormigones.

The first part of the thesis is focused in basics theoretical concepts about High Performance Concretes, its characteristics and its advantage to use in a construction.
In the second part, it is described to each one of the three types of concretes. They are: Shot-concrete, Self Compacting Concrete and Low Shrinkage Concrete by controlled Drying.
Finally, the project is introduced the chapter of Laboratory tests where the results are the clues to get summaries and recommendations how to use these kinds of Concretes in a tunnel.

INTRODUCCION

En la actualidad uno de los principales problemas que prevalece en la industria del hormigón es la prioridad de infraestructura debido a la rápida urbanización del mundo, siempre tomando en cuenta la durabilidad del hormigón que va de la mano con el costo y las soluciones ecológicas.
La elaboración de hormigones de altas prestaciones utilizados en túneles, permite conocer las nuevas tecnologías que son puestas en marcha en la construcción, que desean solucionar los problemas comunes que ocurren durante el proceso de fundición y posterior a este, en la construcción de un túnel.

CONTENIDO

CAPITULO 1
1. HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES

1.1 DEFINICIÓN
El American Concrete Institute (ACI), define el hormigón de Alto Desempeño como: “Un Hormigón que cumple con la combinación de desempeño especial y requisitos de uniformidad, que no puede ser rutinariamente conseguida, usando solamente los componentes convencionales y las practicas normales de mezclas, colocación y curado”

1.2 CARACTERÍSTICAS.

- Manejabilidad
- Rápido Desarrollo de las resistencias
- Excelente Durabilidad
- Elevada Resistencia a los ataques químicos y a la abrasión
- Estabilidad Volumétrica
- Módulos Elásticos Elevados

1.3 TIPOS DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES

- Hormigón de Alta Resistencias
- Hormigón Compactado con Rodillo
- Hormigones con polímeros

CAPITULO 2

2. HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES UTILIZADOS EN TUNELES

2.1 HORMIGON PROYECTADO

El hormigón proyectado también llamado hormigón gunitado es el que se coloca mediante proyección del mismo contra la superficie de roca que se desea proteger, de manera que quede adherido a esta.

2.1.1 HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS DE ACERO

2.1.1.1 DEFINICION

Es el hormigón proyectado al cual se le añade fibras de acero como adición, y que se lo hace para obtener la propiedad ser dúctil, esto ayuda a que se de una mejor resistencia a la tracción como hormigón en masa.

2.1.1.2 MATERIALES

Fibras de acero

Mejoran la resistencia a la fisuración, su ductilidad, la absorción de energía y su resistencia al impacto.

Aditivos

Acelerante de fraguado, permite la adherencia a las paredes del túnel.
Superplastificantes, en proyección por vía húmeda
Reductores de rebote, en proyección por vía seca

2.1.1.3 CARACTERISTICAS

- Mayor resistencia a la tracción, flexión y cortante.
- Gran capacidad para soportar cargas.
- Control eficaz de los fenómenos de fisuración y retracción
- Resistencia a los impactos y a la fatiga.
- Ductilidad.
- Resistencia al fuego mayor que la de un hormigón convencional.

2.1.1.4 PUESTA EN OBRA

Vía seca.- la mezcla de cemento, agregados y fibras, la coloca dentro de la tolva de la gunitadora. En la boquilla de la manguera se añade el agua y los aditivos líquidos disueltos en

esta, que llegan a presión por otra manguera. La mezcla de cemento, agregados y agua se produce en la boquilla de la manguera.
Vía húmeda.- es similar al proceso de bombeo del hormigón. La mezcla completa (cemento + agregados + agua + aditivos) se vierte sobre la tolva de la gunitadora, la mezcla es impulsada por la manguera, en cuya boca se añade aire comprimido para proyectar la mezcla también posible añadir aditivos líquidos en la boquilla de la manguera.

2.1.2 HORMIGON PROYECTADO CON MICROSILICE

2.1.2.1 DEFINICION
Un hormigón proyectado con microsílice, es aquel que contiene finas partículas de humo de sílice (Si O2), mejorando considerablemente la adherencia del hormigón proyectado, disminuye su rebote, mejora la trabajabilidad y la impermeabilidad, y aumenta las resistencias iniciales y finales.

2.1.2.2 MATERIALES
Microsílice
El humo de sílice o microsílice es un producto secundario que resulta de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en calderos de arco eléctrico en la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio.

2.1.2.3 CARACTERISTICAS
- Reduce considerablemente la exudación en el hormigón fresco
- Contenido de microsílice entre 5 y 15 % del peso del cemento.
- Reducción a la corrosión de la armadura; y mejora la resistencia a la abrasión.

2.1.2.4 PUESTA EN OBRA
La microsílice se adiciona junto con el cemento y antes de la adición del agua de amasado. Se recomienda un amasado en seco para una mejor homogeneización.
Debido a la gran superficie específica del producto, deben asegurarse los tiempos de mezclado suficientes, de forma que la dispersión de las partículas sea suficiente.
En general pueden reemplazarse 3 partes de cemento por una de microsílice, manteniendo las propiedades mecánicas.

2.2 HORMIGÓN DE BAJA RETRACCIÓN DE USO DE TÚNELES PARA EVITAR FISURAS POR RETRACCIÓN HIDRAÚLICA

2.2.1 DEFINICIÓN
El concepto clave de hormigón de baja retracción es el de controlar la retracción, provocando el aumento de volumen del concreto antes de que se inicie la retracción de este, con esto se consigue que el concreto alcance su volumen original después de contraerse.

2.2.2 MATERIALES
- Cemento Tipo I, es un cemento puro de bajo o poco contenido de puzolana además poseer cantidades mínimas de óxido de hierro, y esto ayuda a tener menores valores de retracciones.
- El uso de un incorporador de aire se la realiza para efectos de durabilidad del hormigón.
- Para controlar la retracción del concreto se emplean relaciones agua – cemento bajas, pero si es necesario se añade un aditivo controlador de aire.

2.2.3 CARACTERISTICAS

- Resistencia a la compresión como un concreto normal.
- Retracciones menores a 0.04%
- Mayor durabilidad debido a la inclusión de aire.

2.2.4 PUESTA EN OBRA

Utilización de sistemas vibradores, en el caso de revestimiento para túneles, se debe utilizar el encofrado metálico con sistema de vibración de paredes de encofrado.
Se puede recurrir al uso de aditivo superplastificante, en una proporción recomendada no mayor de 2 % del peso del cemento.
El incorporador de aire se lo adiciona al finalizar el mezclado de todos los materiales.

2.3 HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

2.3.1 DEFINICION

Según el profesor Okamura, el hormigón autocompactante, HAC, es "el hormigón capaz de fluir en el interior del encofrado, rellenando de forma natural el volumen del mismo, pasando entre las barras de armaduras y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso, sin ninguna compactación interna o externa, y sin que se produzca ninguna segregación física de sus constituyentes"

2.3.2 MATERIALES

El porcentaje de arena estimado está entre 50 y 60% de la cantidad total de agregados.
El tamaño máximo del árido se limita a 25mm, y no deberá excederse este tamaño ya que implica un elevado riesgo de bloqueo y segregación de la masa.
El aditivo superplastificante es imprescindible para la confección de hormigón auto compactante, y es capaz de reducir agua efectiva de la mezcla considerablemente a valores superiores al 35%

2.3.3 CARACTERISTICAS

- Elevada fluidez
- Elevada resistencia a la segregación
- Adecuada viscosidad plástica:
- Deformabilidad en estado fresco:

2.3.4 PUESTA EN OBRA

- Se han de utilizar moldes completamente estancos en la colocación del HAC.
- Los moldes han de ser capaces de soportar la presión hidrostática que ejerce el hormigón.
- Para aplicaciones verticales, existe mayor regularidad y calidad de las superficies en contacto con los encofrados.
- Eliminación de la vibración
- Se necesita una mezcladora efectiva
- Unos medidores de humedad precisos

CAPITULO 3

3 ENSAYOS

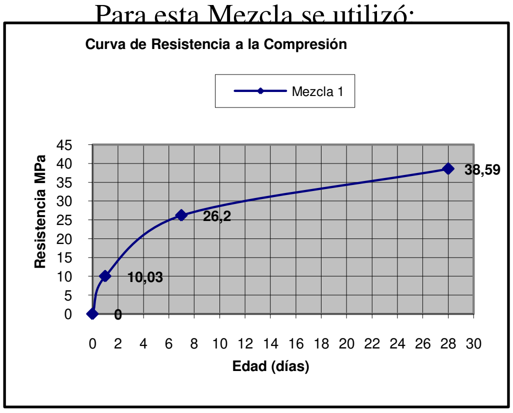
3.1 ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON

HORMIGÓN PROYECTADO

TABLA 1
ESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION MEZCLA 1

Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f ‘c MPa*
1	18	1	2213	10.03
	18	7	2215	26.20
	18	28	2219	38.59

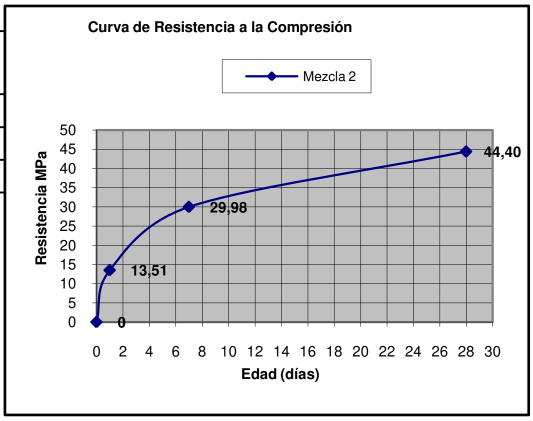
Para esta Mezcla se utilizó:



A/C 0.47
Sigunit L22 6 %
Rheobuild 1.50 %
MicroSílice 15 %
Fibra de Acero 40 Kg

TABLA 2
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION MEZCLA 2

Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f ‘c MPa*
2	***16***	***1***	***2402***	***13.51***
	16	***7***	***2406***	***29.98***
	16	***28***	***2409***	***44.40***

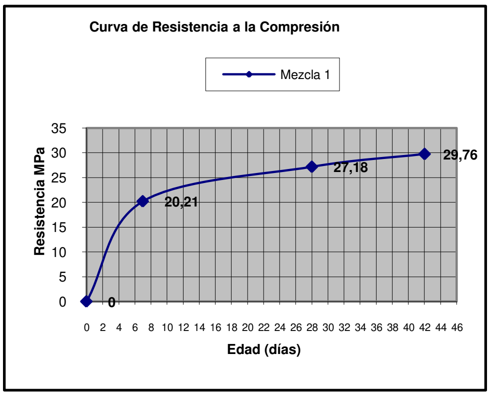


Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.36
Sigunit L22 6 %
RheoMac 15 %
Fibra de Acero 40 Kg

HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

TABLA 3
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION MEZCLA 1

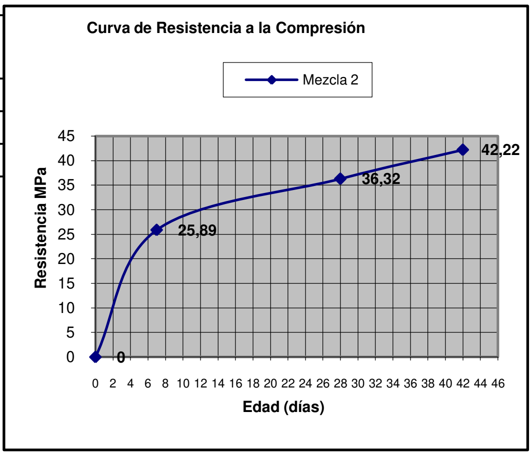
Muestra	*Extend. cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f ‘c MPa*
1	65	7	2204	20.21
	65	28	2209	27.18
	65	42	2210	29.76



Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.50
Sika Viscocrete 5 1.2 %
Los Agregados son de
Calcáreos Huayco.

TABLA 4
RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION MEZCLA 2

Muestra	*Extend. cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f 'c MPa*
2	70	7	2210	25.89
	70	28	2216	36.32
	70	42	2218	42.22

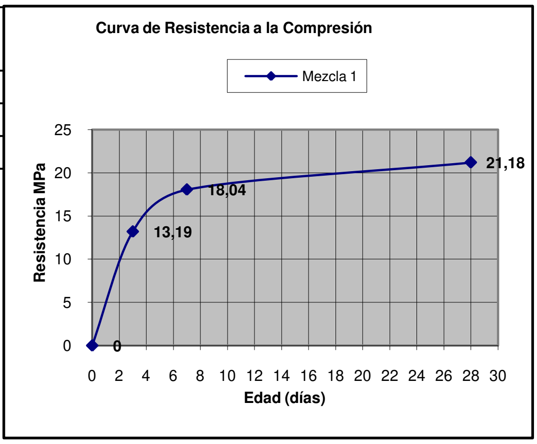


Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.45
Sika Viscocrete 5 1.5 %
Los Agregados son de Calcáreos Huayco.

HORMIGÓN DE BAJA RETRACCIÓN

TABLA 5
RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION MEZCLA T-1

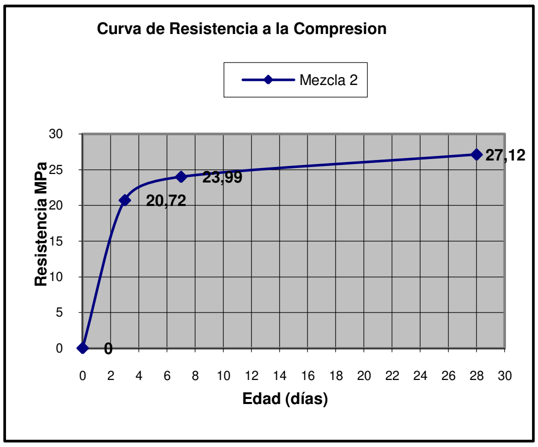
Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f 'c MPa*
T-1	12	3	2346	13.19
	12	7	2360	18.04
	12	28	2358	21.18



Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.40
Sika Aer 0.07 %
Sikament N100 1.50 %
Los Agregados son de Calcáreos Huayco.

TABLA 6
RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION MEZCLA T-2

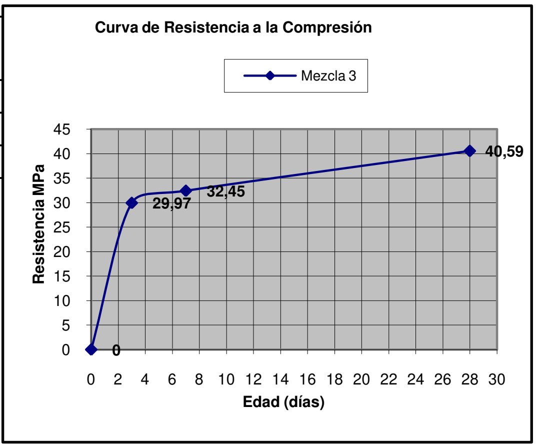
Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f 'c MPa*
T-2	10	3	2403	20.72
	10	7	2410	23.99
	10	28	2398	27.12



Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.35
Sika Aer 0.07 %
Sikament N100 1.50 %
Los Agregados son de Calcáreos Huayco.

TABLA 7
RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION MEZCLA T-3

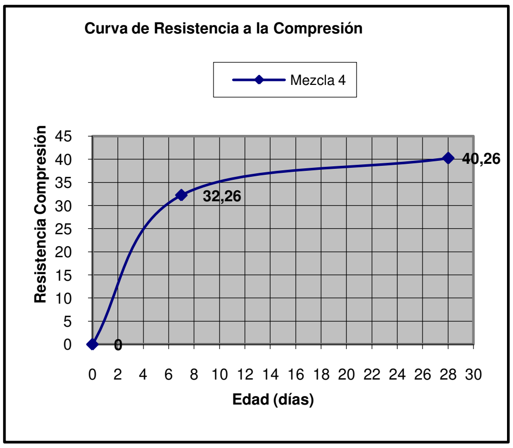
Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f 'c MPa*
T-3	11	3	2413	29.97
	11	7	2418	32.45
	11	28	2405	40.59



Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.34
Sika Aer 0.07 %
Sikament H200 1.50 %
Los Agregados son de Calcáreos Huayco.

TABLA 8
RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION MEZCLA T-4

Muestra	*Asent cm*	*Edad días*	*Densidad Kg/m3*	*f 'c MPa*
T-4	10	7	2410	32.26
	10	28	2401	40.26



Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.34
Sika Aer 0.07 %
Sikament NH100 1.50 %
SikaControl 40 2.00 %
Los Agregados son de Calcáreos Huayco.

3.2 OTRAS CARACTERISTICAS DEL HORMIGON

<u>Hormigón Proyectado</u>
Determinación del Rebote

1. Se coloca una lona de plástico sobre el suelo al pie de la pared donde se gunitará.
2. Se procede a proyectar el hormigón en el área especificada y con un espesor determinado.
3. El hormigón que no se adhiere a la pared y caiga sobre la lona será recogido y medido.
4. La diferencia en porcentaje entre el hormigón total usado y el que quedo en la lona es la cantidad de rebote o pérdida.

<u>Hormigón Autocompactante</u>
Determinación de la Manejabilidad Libre
En la Muestra 1 se obtuvo un extendido de 65cm.
En la Muestra 2 se obtuvo un extendido de 70cm.

Determinación de la Manejabilidad Controlada

- Bloqueo en las barras: Sin indicios de bloqueo
- $H_{x\ cm}/H_{0\ cm}$ (autonivelación) > 0.80
- T_{40} (tiempo de fluencia) es de 3 a 5 seg.

En la Muestra 1 se obtuvo un $H_{x\ cm}/H_{0\ cm} = 0.82$ y $T_{40} = 5$
En la Muestra 2 se obtuvo un $H_{x\ cm}/H_{0\ cm} = 0.85$ y $T_{40} = 3.8$

<u>Hormigón Baja Retracción</u>
Determinación del Contenido de Aire
Después de algunos muestreos se llegó a la dosificación del 0.07% con respecto al peso de cemento el cual permite incorporar 4% de aire a la mezcla para mejorar la propiedad de durabilidad del hormigón (ver foto en el Anexo).

Determinación de las Retracciones
Los resultados de este ensayo se muestran a continuación:

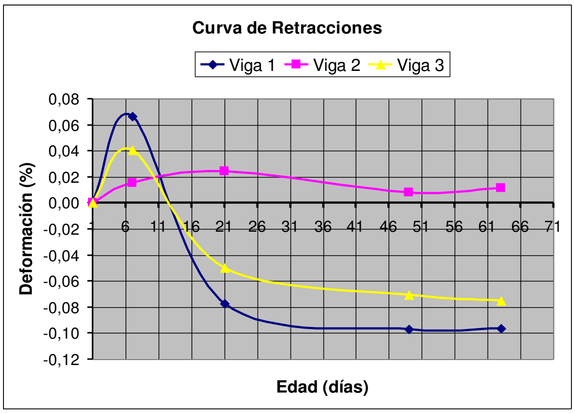
MEZCLA T-2

TABLA 12

Muestra Nº	*Lecturas relativas*					*Deformación (%)*				
	Lo	**L**				**1**	**7**	**21**	**49**	**63**
	1día	**7 días**	**21 días**	**49 días**	**63 días**	**(días)**				
Viga-1	2,5426	2,7090	2,3493	2,3006	2,3020	0,00	0,0665	-0,0773	-0,0968	-0,0962
Viga-2	3,6136	3,6526	3,6740	3,6340	3,6420	0,00	0,0156	0,0241	0,0081	0,0113
Viga-3	2,6086	2,7103	2,4840	2,4326	2,4213	0,00	0,0406	-0,0498	-0,0704	-0,0749

Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.35
Sika Aer 0.07 %
Sikament N100 1.50 %

Los Agregados son procedentes de Calcáreos Huayco.



Viga 1 y Viga 3 : Cámara Seca
Viga 2 : Sumergida en agua

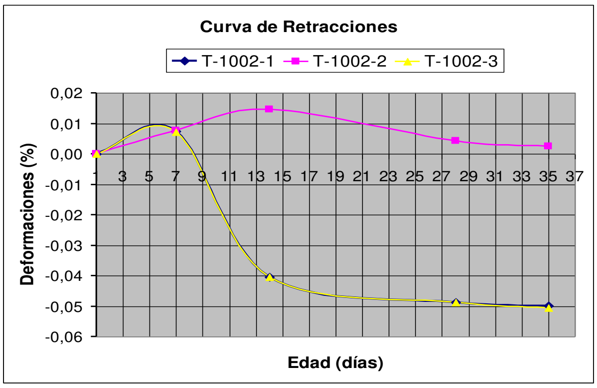
MEZCLA T-3

TABLA 13

Muestra Nº	*Lecturas relativas*					*Deformación (%)*				
	Lo	**L**				**1**	**7**	**14**	**28**	**35**
	1 día	**7 días**	**14 días**	**28 días**	**35 dias**	**días**				
T-1002-1	2,4413	2,4600	2,3400	2,3193	2,3167	0,0	0,0074	-0,0405	-0,0488	-0,0498
T-1002-2	2,4400	2,4593	2,4767	2,4507	2,4460	0,0	0,0077	0,0146	0,0042	0,0024
T-1002-3	2,4427	2,4607	2,3413	2,3210	2,3160	0,0	0,0072	-0,0405	-0,0486	-0,0506

Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.34
Sika Aer 0.07 %
Sikament H200 1.50 %

Los Agregados son procedentes de Calcáreos Huayco.



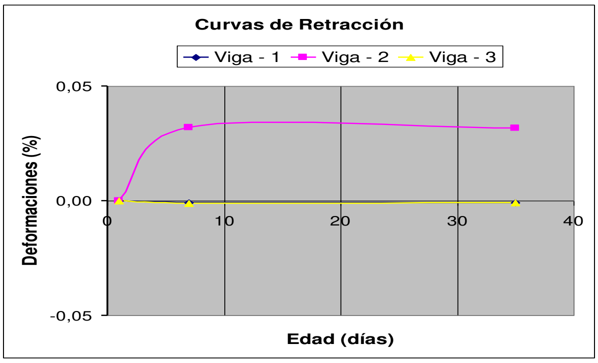
T-1002-1 y T-1002-3 : Cámara Seca
T-1002-2 : Sumergida en agua

MEZCLA T-4

TABLA 14

Muestra Nº	*Lecturas relativas*			*Deformación (%)*		
	Lo	**L**		**Días**		
	1 día	**7 días**	**35 días**	**1**	**7**	**35**
Viga - 1	2,8103	2,8083	2,8083	0,00	-0,00080	-0,0008
Viga - 2	2,3450	2,4247	2,4240	0,00	0,03187	0,0316
Viga - 3	2,8113	2,8087	2,8090	0,00	-0,00107	-0,00093

Para esta Mezcla se utilizó:
A/C 0.34
Sika Aer 0.07 %
Sikament N100 1.50 %
SikaControl 40 2.00 %
Los Agregados son procedentes de Calcáreos Huayco.



Viga 1 y Viga 3: Cámara Seca
Viga 2 : Sumergida en agua

3.3 CALIDAD DE LOS MATERIALES

Para la categorización y clasificación de los agregados se siguió la norma ASTM C33.

Hormigón Proyectado

Los agregados a utilizar provienen de la Cantera de Pifo y el Cemento de la Cementera Selva Alegre, el ensamblaje granulométrico utilizado para el agregado grueso y fino respectivamente fue:

Piedra 3/4	30%	Arena de Río	50%
Piedra 3/8	70%	Arena Triturada	50%

Hormigón Autocompactante

Los agregados a utilizar provienen de la Cantera Huayco y el Cemento de la HOLCIN, el ensamblaje granulométrico utilizado entre el agregado grueso y fino fue:

Piedra 1/2	45%	Arena	55%

Hormigón Baja Retracción

Los agregados a utilizar provienen de la Cantera Huayco y el Cemento de HOLCIM, el ensamblaje granulométrico utilizado entre el agregado grueso y fino respectivamente fue:

Piedra 3/4	50%	Arena de Río	65%
Piedra 1/2	50%	Arena Triturada	35%

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hormigón Proyectado

- Las relaciones agua – cemento para los dos tipos de Hormigones estructural de soporte y de revestimiento fueron 0.36 y 0.47 respectivamente, la menor relación agua / cemento incrementa la resistencia del hormigón.
- Para el hormigón proyectado por vía húmeda es necesario el uso de aditivos reductores de agua o superplastificantes, para mejorar la manejabilidad y transportabilidad requerida, los aditivos utilizados fueron Rheobuild 726 y el Viscocrete 2.
- La reducción del rebote del hormigón proyectado se logró con la utilización de un aditivo especial, el Sigunit L22, que redujo el rebote hasta un 10%, mejorando la adherencia del hormigón a las paredes del túnel.
- La incorporación de la microsílice en el hormigón proyectado se hizo para alcanzar una mayor resistencia a la abrasión y a la corrosión. Además aumenta la resistencia a la compresión obteniendo un concreto de mayor calidad.
- Con la presencia de fibras de acero en el hormigón se obtuvo una mayor ductibilidad, mejorando la resistencia a la fisuración y al impacto, es decir, haciéndolo resistente a deformaciones considerables sin disminuir su capacidad portante.

Hormigón Auto Compactante

- La cantidad apropiada de finos a utilizar es importante para conseguir una mejor cohesión y consistencia del hormigón; además para evitar la segregación y controlar la exudación. La utilización de un agregado grueso de tamaño máximo de ½ ” (12.5 mm) junto con la arena río y arena triturada ayudó a tener un óptimo ensamblaje granulométrico, se llegó a la proporción de 55% para el agregado fino y 45% de agregado.
- El aditivo tiene una influencia considerable por lo que si la cantidad es insuficiente producirá una baja fluidez y una sobre dosificación de aditivo puede causar segregación y exudación en el hormigón. El aditivo utilizado fue un hiperplastificante llamado SikaViscocrete-5, el cual mejora el comportamiento del hormigón en todas sus propiedades.
- Mediante las pruebas realizadas de: Flujo libre, flujo controlado y las diversas combinaciones en cantidad de peso de cemento se llegó a la conclusión que para obtener

un mezcla óptima se requieren cantidad de cemento entre 450 – 500 kg. por m3, esto a su vez ayudó al incremento de resistencias.

- Una relación agua / cemento de valores entre 0.40 y 0.45, son adecuadas para este tipo de hormigón, ya que estas mejoran la manejabilidad. Los ensayos de caja L y extendido permitieron llegar a esta conclusión, lo cual permitió una mejor interacción pasta agregado sin peligro de segregación de la mezcla.
- En lo que respecta a la estructura de un túnel, se pudo concluir que este tipo de hormigón es de gran ayuda en su colocación y por consiguiente se reducen costos por puesta en obra de concreto, la facilidad de colado de este permite evitar el uso de vibradores convencionales y de pared.

Hormigón de baja retracción de uso de túneles para evitar fisuras por retracción hidráulica

- La granulometría de la mezcla fue una combinación de cuatro tipos de agregados que permitieron que la mezcla sea homogénea, para esto se utilizó un 45% de agregado fino esto es arena de río y arena homogeneizada (70% y 30 % respectivamente) y 55% de agregado grueso, piedra ½" y piedra ¾" (50% y 50%).
- En lo que refiere a la relación agua / cemento, después de haber sido realizadas los ensayos de medición de retracción, se pudo apreciar que mientras menor es la relación A/C, menor es la retracción, en este caso se podría establecer valores entre 0.32 y 0.35.
- Las probetas de compresión de la primera mezcla presentaron valores de resistencias relativamente bajos (21 MPa a los 28 días) con una relación A/C de 0.40, para la segunda mezcla se redujo la relación A/C a 0.35 resultando así valores de 27 MPa a los 28 días, para las siguientes mezclas (T-3 y T-4) se utilizó relación A/C de 0.34, pero el incremento fue mayor llegando a 40 MPa a 28 días. La diferencia de valores de resistencia se debió a las humedades de las arenas de las dos primeras mezclas, ya que en las dos posteriores no hubo este inconveniente.
- La incorporación de aire fue fundamental en este tipo de hormigón pues se requería durabilidad como característica primordial y mejor resistencia a fisuración, así que se le adicionó después de varias pruebas un porcentaje adecuado de aditivo, llegando a un valor de 0.07 % del peso del cemento, que adiciona un 4% de aire a la mezcla, esto es en total un 6% de aire atrapado en la mezcla, el aditivo utilizado para esto fue el Sika Aer, un aditivo que en poca proporción como se mencionó anteriormente produce un aumento gradual de aire, por este motivo se debió de adicionar en la parte final del proceso de mezclado.
- En la última mezcla T-4, se usó un aditivo controlador de retracciones llamado Sika Control 40, la dosificación fue la misma que en la mezcla T-3, relación agua / cemento 0.34, el aditivo no produjo alteración de las resistencias.
- Si se comparan los valor de retracciones medidos en las tres mezclas, se pudo apreciar que en la última de estas, es decir, con el Sika Control 40 y la misma cantidad de Sika Aer, los valores de las retracciones están por debajo 0.01 % (0.008 %), lo que no ocurrió con las dos mezclas anteriores en donde en T-2 se obtuvo valores de hasta 0.09 y en T-3 valores de hasta 0.05, que a efectos de obtener baja retracción se considera muy satisfactorio.
- La conclusión general es que un hormigón de baja retracción debe tener una granulometría homogénea, baja relación agua / cemento entre 0.30 y 0.35 en el caso del proyecto, incorporación de aire para mejorar la durabilidad y por último si es posible utilizar un aditivo controlador de retracciones.

BIBLIOGRAFIA

1. Gauto O., Astori R., Sanguinetti B. Control de Calidad de un Proceso de Producción de Hormigones de Alto Desempeño. (Argentina, Instituto de Estabilidad Facultad de Ingeniería UNNE)
2. Moussa Baalbaki, Últimos Desarrollos en la Tecnología del Hormigón. (Canadá Holderbank Management and Consulting, Mayo 1998).
3. CIATH. Hormigón de Alto Desempeño para Estructuras. Universidad Nacional de Córdova Argentina. http://www.efn.uncor.edu/dep/estruct/ciath/HAD.HTM
4. Sánchez de Guzman D, "Tecnología del Concreto y Mortero", Colección Básica Del Concreto, Instituto del Concreto, pp. 171-177; 319-330.
5. De la Peña Bernardo, "Hormigón Proyectado en Túneles", Revista BIT, Septiembre 2003, pp. 52-55.
6. Harmut Claussen, "Fibras de Refuerzo Hormigón",Revista BIT, Mayo 2004, pp. 41-42.
7. Hormigón Proyectado. Revista del Centro Tecnológico del Hormigón. pp. 106-115.
8. CIATH. Hormigón de Alto Desempeño para Estructuras. Universidad Nacional de Córdova Argentina. http://www.efn.uncor.edu/dep/estruct/ciath/HAD.HTM
9. Tazawa E., Sato R., Etsuo S., Miyazawa S., editado por Baroghel - Bouney and Aitcin C. RILEM Publications S.A.R.L. Shrinkage of Concrete Shrinkage 2000. "Work of JCI Committee on Autogenous Shrinkage" (Japan, Institute of Technology and Hiroshima University) pp. 21-40.
10. Sánchez de Guzman D, "Tecnología del Concreto y Mortero", Colección Básica Del Concreto, Instituto del Concreto, pp. 319-330.
11. Miyazawa Shingo y Tazawa Ei-ichi, editado por Baroghel - Bouney and Aitcin C. RILEM Publications S.A.R.L. Shrinkage of Concrete Shrinkage 2000. "Influence of Specimen size and Relative Humidity on Shrinkage of High Strength Concrete" (Japan, Institute of Technology and Hiroshima University) pp 233-246.
12. Ratto J. Carlos, "Fisuración una consecuencia de la Retracción de los Hormigones", Revista BIT, Septiembre 2000, pp. 11-12.
13. Gomes P, Ravindra Gettu, Agullo Luis, Bernad Camilo. Diseño de Hormigones Autocompactables de Alta Resistencia. Procedimientos para su dosificación y métodos de caracterización. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
14. Martinez A. Hormigón Autocompactante. http://www.hormigonelaborado.com/infotecnica_autoc.htm
15. Aguilar Carlos y Barrera Hugo, "Hormigón Autocompactante: De la Investigación a la Práctica", Revista BIT, Julio 2003, pp. 27-30.
16. García San Martín José Maria, "Hormigón Autocompacto y Glenium", Cemento-Hormigón, Agosto 2001, pp. 695-697.
17. De la Peña Bernardo, " Hormigón Autocompactante", Revista BIT, Junio 2001, pp. 7-12
18. Manual De Usos Del Hormigón Elaborado. Resistencia del Hormigón http://www.hormigonelaborado.com/manual-5.htm.
19. Sánchez de Guzman D, "Concreto y Morteros Manejo y Colocación en Obra", Colección Básica Del Concreto, Instituto del Concreto, Volumen 4, pp141-157.
20. Hermida Germán. Inmersión de Concreto Autocompactante, a la búsqueda y encuentro de un diseño optimizado. Sika Andina S.A.